

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 22420051302428

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 Contourlet 变换的图像增强算法

An Image Enhancement Algorithm Based on Contourlet

Transform

李 绿 森

指 导 教 师 : 闫 敬 文 教 授

专 业 名 称 : 信 号 与 信 息 处 理

论 文 提 交 日 期 : 2008 年 月

论 文 答 辩 日 期 : 2008 年 月

学 位 授 予 日 期 : 2008 年 月

答 辩 委 员 会 主 席 : \_\_\_\_\_

评 阅 人 : \_\_\_\_\_

2008 年 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。  
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非盈利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密( )，在      年解密后适用本授权书。

2、不保密( )

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名:

日期:

年

月

日

导师签名:

日期:

年

月

日

## 摘要

图像增强是一种通过有选择地强调图像中某些信息和抑制另一些信息,以改善图像视觉效果的技术。图像增强算法主要包括空间域和变换域两种,空间域常见的算法有直方图均衡化和锐化处理,而变换域的算法主要包括多种滤波算法和基于小波、Curvelet、Contourlet 等变换算法。

Contourlet 变换的主要目的是为了获得含有线和面奇异的图像的稀疏表示,它不仅继承了小波变换的多分辨率时频分析特征,而且具有良好的方向各异性。但是由于 Contourlet 变换缺乏平移不变性,在图像增强时会产生伪吉布斯效应,而 Nonsubsampled Contourlet 变换(NSCT)是一种具有多分辨,多方向,平移不变等特性的变换,有效消除伪吉布斯效应,因此本文采用 NSCT。结合图像增强技术提出一种基于 NSCT 的图像增强算法。

在基于变换域的图像增强算法中,我们通过选择有效的阈值区分噪声和边缘等信息,并构造增强函数对边缘等有用信息进行增强。首先本文分析了 NSCT 的各尺度方向子带系数的分布特征,发现子带系数具有非高斯、高峰度和长拖尾等特性,所以采用广义高斯分布模型来描述 NSCT 不同尺度上的系数的概率分布,并采用自适应贝叶斯阈值用来区分图像边缘和噪声系数。其次研究了经 NSCT 后的高斯白噪声系数在各尺度方向的变换趋势,引入负指数模型对各个方向子带的噪声方差进行估计。接着,本文对匹配函数的各个特性进行分析,针对分段非线性增益函数存在的不足,提出一个快速,简单的增强匹配函数,并对函数的参数进行了详细的讨论和实验分析。最后,本文引入 DV-BV 值刻画图像的细节方差和背景方差,作为图像的增强效果的客观评价指标。

本文对直方图均衡化算法、基于小波变换的增强算法、最近提出的基于 Contourlet 变换算法和本文算法进行实验对比。结果表明,在人的主观视觉效果方面,本文算法比先前其他算法有着更加显著的边缘和更好的对比度。在客观评价指标方面,本文算法的细节方差值(DV)明显高于其他算法,而背景方差(BV)值则基本不变。

**关键词** 图像增强; Contourlet 变换; 贝叶斯阈值; 广义高斯分布; 增强匹配函数; DV-BV

## ABSTRACT

Image enhancement is a technique which can improve visual effect by enhancing some information and suppressing others. The spatial domain method and the transform domain method are two traditional image enhancement algorithms. In spatial domain, histogram equalization and sharpening processing are two methods used widely, while in transform domain, there are many algorithms, including filtering and algorithms based on wavelet, curvelet, contourlet etc.

Contourlet transform aims at obtaining sparse presentations of images, which inherits local supporting and the multi-resolution property of wavelet. Furthermore, it is anisotropic and provides more directions than wavelet. However, contourlet transform is not shift-invariant and could cause pseudo-Gibbs phenomena around singularities in image enhancement. Nonsubsampled contourlet transform (NSCT), as a fully shift-invariant form of contourlet transform, leads to better frequency selectivity and regularity. Thus, NSCT is unitized as the multiscale transform in image enhancement in this paper.

In transform-based image enhancement algorithms, a threshold is firstly selected to distinguish noise and edge, followed by an enhancement function to amplify the useful information, e.g. edges and textures. Thus, in this thesis, distribution of NSCT coefficients in different directions and scales is analyzed, which is non-gaussian, high-peak and long-trailing, and modeled by Generalized Gaussian Distribution (GGD). In addition, an adaptive bayes threshold is constructed to suppress the noise and preserve the texture. In order to estimate the noise variance, white gaussian noise is decomposed by NSCT and the variance in different scales is found to obey negative exponent rule. Then, a fast and simple enhanced function is proposed to overcome the shortcoming of piecewise nonlinear operator, also parameters of our method which could affect the enhancement results are discussed. Finally, DV-BV objective evaluation is introduced to depict the detailed variance and background variance respectively.

Experimental results demonstrate that the proposed algorithm outperforms

histogram equalization, wavelet-based and NSCT-based algorithms in terms of human vision and the object criteria. The textures are more distinct, the contrast is more preferable, and detail variance (DV) of proposed method is much higher than the other methods, while the background variance (BV) is almost equal.

**Key Words:** Image enhancement; NSCT; Bayes threshold; Generalized Gaussian Distribution; Enhanced function; DV-BV

## 目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 选题的意义和背景.....	1
1.2 图像增强的研究现状.....	2
1.3 本文工作及章节安排.....	3
1.3.1 本文工作.....	3
1.3.2 章节安排.....	4
第二章 传统图像增强算法概述.....	5
2.1 空间域的图像增强技术.....	5
2.1.1 概述.....	5
2.1.2 灰度变换.....	6
2.1.3 直方图修正.....	8
2.1.4 图像平滑.....	10
2.1.5 图像锐化.....	11
2.2 变换域的图像增强技术.....	13
2.2.1 概述.....	13
2.2.2 低通滤波.....	14
2.2.3 高通滤波.....	14
2.2.4 同态滤波.....	15
2.2.5 基于小波变换的图像增强技术.....	16
2.3 传统算法存在的不足.....	16
第三章 Contourlet 变换理论.....	18
3.1 Contourlet 变换的由来.....	18
3.2 Contourlet 变换.....	19
3.2.1 LP 变换.....	20
3.2.2 方向滤波器组.....	20
3.2.3 非降采样 Contourlet 变换 (NSCT).....	23
3.3 Contourlet 变换的实验仿真.....	26
3.4 Contourlet 变换的应用.....	27
第四章 基于 NSCT 变换图像增强改进算法研究.....	29
4.1 基于 NSCT 的增强改进算法实现.....	29
4.2 阈值处理过程中相关问题.....	33

4.2.1 NSCT 域噪声方差估计 .....	33
4.2.2 NSCT 域系数分布特征 .....	34
4.2.3 自适应贝叶斯阈值的选取.....	35
<b>4.3 增强匹配函数 .....</b>	<b>40</b>
4.3.1 增强匹配函数的构造.....	40
4.3.2 参数讨论及实验分析.....	42
<b>第五章 实验结果及其讨论.....</b>	<b>45</b>
5.1 图像增强的评价标准简介 .....	45
5.2 实验内容 .....	46
5.3 实验结果分析 .....	47
5.3.1 参数 $b$ 的选择的基本原理.....	47
5.3.2 实验结果讨论.....	48
<b>第六章 总结与展望.....</b>	<b>56</b>
6.1 论文工作总结 .....	56
6.2 未来研究工作的展望 .....	57
<b>参考文献.....</b>	<b>58</b>
<b>攻读硕士学位期间发表的论文及参加项目 .....</b>	<b>64</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>65</b>



# CONTENTS

<b>Chapter 1</b>	<b>Preface .....</b>	<b>1</b>
1.1	Meaning and background .....	1
1.2	Research status of image enhancement .....	2
1.3	Main work and framework of this paper .....	3
1.3.1	main work .....	3
1.3.2	framework .....	4
<b>Chapter 2</b>	<b>Summary of traditional enhancement method .....</b>	<b>5</b>
2.1	Enhancement method of space domain .....	5
2.1.1	summary .....	5
2.1.2	gray transform .....	6
2.1.3	histogram amendment .....	8
2.1.4	image smoothing .....	10
2.1.5	image sharpening .....	11
2.2	Enhancement method of transform domain .....	13
2.2.1	summary .....	13
2.2.2	lowpass filtering .....	14
2.2.3	highpass filtering .....	14
2.2.4	homomorphic filtering .....	15
2.2.5	image enhancement method based on wavelet .....	16
2.3	Shortcomings of traditional algorithms .....	16
<b>Chapter 3</b>	<b>Theory of contourlet transform .....</b>	<b>18</b>
3.1	Development background .....	18
3.2	Contourlet transform .....	19
3.2.1	LP transform .....	20
3.2.2	Directional filtering banks .....	20

3.2.3	Nonsubsampled cotourlet transfrom .....	24
<b>3.3</b>	<b>Simulation .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>Application.....</b>	<b>27</b>
<b>Chapter 4 Research of improved image enhancement algorithm</b>		
	<b>based on NSCT.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Impletemmentation .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Issues about threshold processing .....</b>	<b>33</b>
4.2.1	Noise variance estimation in NSCT domian.....	33
4.2.2	Distribution of coefficients in NSCT domain.....	34
4.2.3	Adaptive bayes threshold.....	35
<b>4.3</b>	<b>Enhanced map function.....</b>	<b>40</b>
4.3.1	Construction .....	40
4.3.2	Discussion & analysis of parameters .....	42
<b>Chapter 5 Experimental results &amp; discussion.....</b>		
<b>5.1</b>	<b>Evaluation criteria .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2</b>	<b>Experiment .....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Results and analysis .....</b>	<b>47</b>
5.3.1	Basic principle of choosing b parameter .....	47
5.3.2	Discussion.....	48
<b>Chapter 6 Conclusions and future work.....</b>		
<b>6.1</b>	<b>Summary .....</b>	<b>56</b>
<b>6.2</b>	<b>The futrue work .....</b>	<b>57</b>
<b>References.....</b>		<b>58</b>
<b>Published Paper and projects.....</b>		<b>64</b>
<b>Acknowledgments.....</b>		<b>65</b>

## 第一章 绪论

人类的大部分信息都是通过视觉获得，而图像信息是人类取得视觉信息的主要途径。在一个图像系统中，从图像的获取到图像的发送、传输、接收、显示等等，每一个环节都会产生干扰，都会使图像的质量降低。例如，摄影时，由于受到照相机的质量、摄影者、光照等各方面的影响，拍到的照片总是有点问题，或是光照不足，或是清晰度不够，不能很好地满足人们的视觉享受。因此，需要对这些“降质”的图像进行处理，以符合要求。图像增强作为图像处理中非常重要的一部分，可以满足提高图像质量的要求<sup>[1]</sup>。图像增强的目的是为了改善图像的外观，使之更适于机器的分析处理，其实质是有选择地加强图像中某些信息而抑制掉另一些信息以增加图像的可读性<sup>[2][3]</sup>。

### 1.1 选题的意义和背景

近年来，随着电子计算机技术的进步，计算机图像处理得到了飞跃的发展，已经成功的应用于几乎所有与成像有关的领域，并正发挥着相当重要的作用。它利用计算机对数字图像进行系列操作，从而获得某种预期的结果。对图像进行处理时，过去曾用光学和电子技术改善图像质量，随着各行各业对图像质量提出更高的要求，图像增强技术已经成为图像改善技术中最常用的方法之一。图像增强的目的是改善图像的视觉效果，并使图像更适于计算机分析或处理。图像经过传送和转换，如成像、复制、扫描、显示等，经常会造成质量的下降。例如，摄影时由于光照条件不足或过度，会使图像过暗或过亮；光学系统的失真、相对运动、大气流动等都会使图像模糊；传输过程中会引入各种类型的噪声。总之，输入的图像在视觉效果和识别方便性等方面可能存在的诸多问题可以归纳为“质量问题”。由于目的、观点、爱好等的不同，图像质量很难有统一的定义和标准，但我们可以根据相应的应用要求改善图像的质量。图像增强根据特定的需要突出图像中的重要信息，同时减弱或去除不需要的信息。从不同的途径获取的图像，通过适当的增强处理，可以使原本模糊不清甚至根本无法分辨的原始图像成为清晰的、含大量有用信息的可用图像，有效地去除图像中

的噪声，增强图像中的边缘、纹理以及其他感兴趣的区域，提高图像的可懂度<sup>[4][5]</sup>，从而更加方便地对图像进行检测、测量、分析等。图像增强可以把原图像转换成更符合人眼感官系统或更便于分析的形式。对图像增强效果的评价存在着一些客观的标准，这和具体的图像用途有很大的关系，通常是靠人的主观感觉和一些客观标准加以综合评价。

在近代科学研究中，图像增强技术已经广泛应用于军事技术、工农业生产、医学、气象、遥感及天文学等领域中。如，军事中，可以采用此技术侦查人眼无法辨别的建筑物和其他场景变化；在工业上，应用则更加广泛，如电子仪器设备引入增强技术加强图像的清晰度及可懂度；医学上，由于人体的差异，和仪器和光照的差异出现的“降质”图像，通过增强技术，可以更准确地定位出病变的区域，方便医生更准确的临床诊断。在气象及天文学上，可以通过增强技术改善，由于天气，仪器设备等不足引起的不清晰，对比度不明显的图像，从而更加准确做出预报。图像增强技术的快速发展同它的广泛应用是分不开的，可以预料，随着科学技术的快速发展，图像增强技术在未来社会中将会发挥越来越重要的作用。

本文在经典的图像增强算法研究基础上，结合非降采样 Contourlet 变换技术，提出了一种新的增强算法。与经典算法相比较，该算法从主观和客观两方面都有显著的提高，有效改善图像质量。

## 1.2 图像增强的研究现状

图像增强的主要目的是提高图像的质量，这区别于另外一种图像改善技术——图像复原，后者要求尽可能恢复原貌，提高图像的逼真度。经过多年的努力，图像增强技术已取得了很大的进步，并初步形成了一套比较完整的算法体系<sup>[1]</sup>。

从现有的文献<sup>[6][7]</sup>看，图像增强可归纳为两方面(1) 消除噪声；(2) 边缘增强和结构信息的保护，但实际仿真过程中，两方面往往不能兼顾，增强边缘的同时极有可能也增强了噪声。

图像增强的方法可以大致分为两类，一类是空域处理方法，一类是频域的处理法。空域法是直接对图像的像素进行处理，基本上是以灰度映射为基础的，

所用的映射变换取决于图像的特点和增强的目的。空域法又可分为点运算和模板运算。点运算是根据图像的像素点按照一定的变换原则逐个处理，与周围的像素点无关。常见的方法有：灰度级校正、灰度变换、直方图均衡化和规定化等。模板运算是以某一个像素点为核心，像素点邻域为相关点，逐个处理模板。常见的方法有：领域平均法、中值滤波、拉普拉斯算子等。

频域法是在图像的某种变换域内，对变换后的系数经过一定的规则进行运算，接着反变换到原来的空域得到增强的图像。这是一种间接的图像处理方法。比如，输入一幅图像，经过小波变换之后，在对变换后的系数进行滤波处理，最后将处理后的系数反变换到空间域，就可以得到增强后的图像。常见的方法有：同态滤波、低通滤波、高通滤波、带阻滤波等。而变换的方法则有 FFT, DCT 变换等，同时包括最新出现的小波变换、Contourlet 变换、Bandelet 变换、Curvelet 变换等<sup>[8-10]</sup>。

为了满足提高图像质量的要求，上面提到的两种方法往往都有一定的局限性，比如空域法不能很好地集中能量进行处理，频域法在变换的过程中存在一些不确定因素。目前存在的大部分方法都是结合空域和频域方法的技术<sup>[11-12]</sup>。

### 1.3 本文工作及章节安排

#### 1.3.1 本文工作

近年来，基于小波变换的图像增强技术取得很好的效果，然而，由一维小波拓展为二维小波变换只具有有限的方向，用它来对图像进行分析时，是以“点”为单位来捕捉图像的特征，不能“最优”表示含“线”或“面”奇异的高维函数。为了解决小波变换在这些方面的局限性，作为一种多尺度几何分析工具，Contourlet变换构造简单，易于实现，同时又具有适于计算机图像表达的局部、方向和带通的特性，从而被认为在进行图像处理方面具有很大的潜力。

本文的主要研究工作是将Contourlet变换应用于图像增强，在理解Contourlet变换特性和原理的基础上，研究了如何结合Contourlet变换实现良好的图像增强效果。同时本文还对作为判断边缘和噪声的阈值和系数的分布特征等方面做了深入研究。具体可以分为四个阶段：

- 1) 研究了经典的图像增强算法, 重点分析各种算法的优缺点和适用的应用领域, 并对主流算法做了大量的对比实验。
- 2) 学习多尺度几何分析的基本理论, 研究了Contourlet变换的构造并实现Contourlet变换, 从理论和实验中总结变换的特性及其在图像处理中的优缺点, 并介绍其应用。
- 3) 研究Contourlet变换后系数的分布特点, 以及变换后噪声的分布情况, 引入噪声估计模型, 结合图像增强的原理, 进行实验分析。
- 4) 对当前常用的图像增强评价指标进行归纳总结, 借鉴已有图像增强算法的成功经验, 寻找Contourlet图像增强新思路, 并在经典的增强算法和基于Contourlet变换的增强算法的启迪下, 提出一种改进的增强算法。

### 1.3.2 章节安排

本文的主要章节安排如下:

第一章为绪论, 阐述了图像增强的研究背景、选题意义和相关的基础知识以及图像增强的研究现状, 最后介绍本文的主要研究工作。

第二章为经典的图像增强算法, 从最早的空域增强算法到变换域增强算法, 较系统全面地概括了经典的算法。对一些经典的算法做了对比实验, 如直方图均衡化、图像锐化等, 特别介绍了基于小波变换的增强算法, 最后对经典算法的优缺点做了小结。

第三章研究了离散 Contourlet 变换理论及其实现方法, 对 Contourlet 用于图像处理进行了仿真, 并介绍其应用。

第四章深入分析了 Contourlet 变换后系数的分布特点, 结合图像增强的原理, 提出一种基于 Contourlet 变换的图像增强改进算法。

第五章引入了图像增强算法的评价指标, 对本文提出的新算法做了大量的实验, 并对实验结果进行主观和客观两方面评价, 得到较好的评价结果。

第六章对本论文工作进行总结, 并对未来的工作做了展望。

## 第二章 传统图像增强算法概述

图像增强是按特定的需要突出一幅图像中的某些信息，同时削弱或去除某些不需要的信息(如噪声)的方法。其目的是提高图像在某种特定运用下的清晰度和对比度，从而改善图像的质量，使得处理的结果更符合人的视觉感官系统或更容易被机器所识别。

图像增强技术基本可分成两大类：空域处理法和变换域处理法。具体的分类<sup>[13]</sup>如图 2.1 所示。

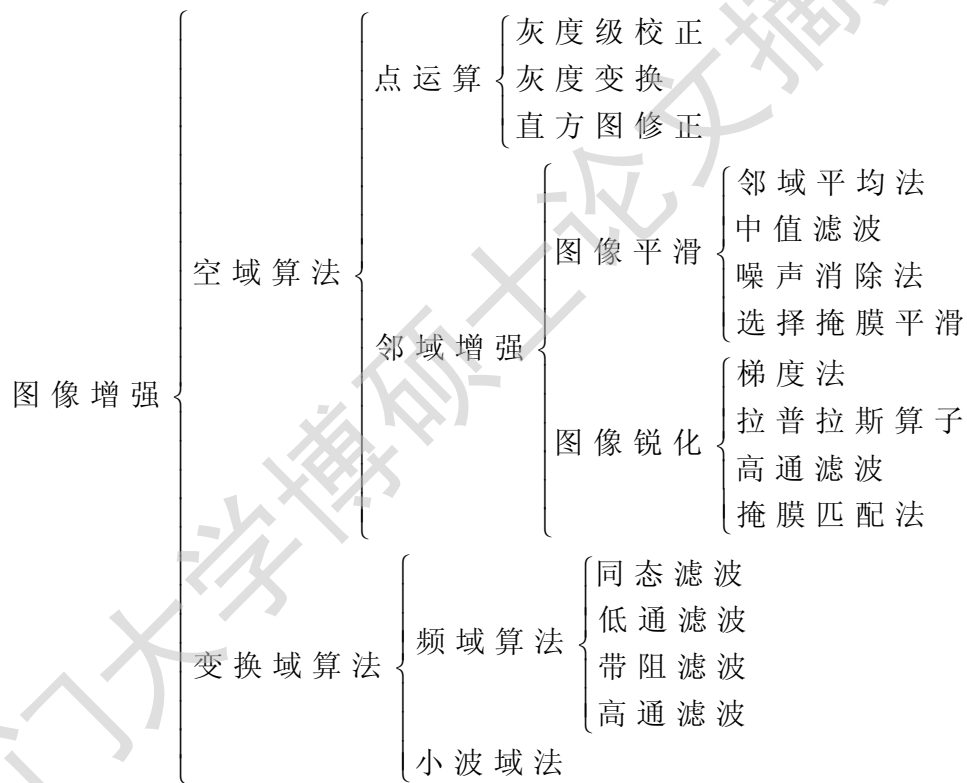


图 2.1 图像增强算法的分类

### 2.1 空间域的图像增强技术

#### 2.1.1 概述

空域图像增强技术是指增强构成图像的像素。空域的方法是直接对这些像素操作的过程，定义为，

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (2-1)$$

其中  $f(x, y)$  是输入图像,  $g(x, y)$  是处理后的图像,  $T$  是对  $f$  的一种操作, 其定义在点  $(x, y)$  的邻域。设输入图像为  $r$ , 处理后的图像为  $s$ , 则对比度增强可以表示为

$$s = T[r] \quad (2-2)$$

式中  $T$  表示输入图像和输出图像对应像素点灰度映射关系, 这样的变换函数是基于像素点操作, 图 2.2 给出比较常见的两种变换函数, 其他变换函数将在以下详细介绍。

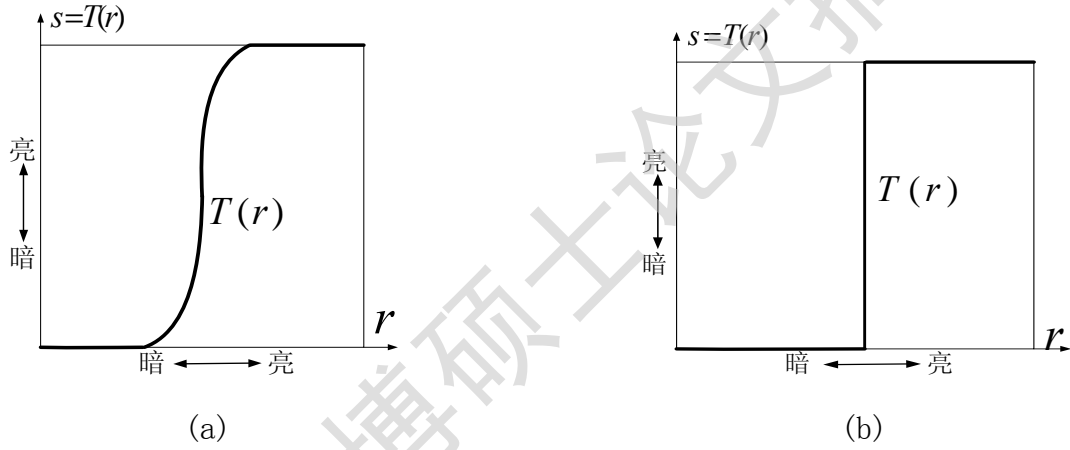


图 2.2 对比度增强的变换函数

### 2.1.2 灰度变换

简单的说, 灰度变换<sup>[14-16]</sup>就是指对图像上各个像素点的灰度值  $x$  按某个函数  $T()$  变换到  $y$ 。灰度变换有时又被称为图像的对比度增强或对比度拉伸, 主要有: 线性变换、分段线性变换、非线性变换等。

#### 1. 线性变换

设原图像  $r(x, y)$  的灰度范围为  $[m, M]$ , 变换后的图像  $s(x, y)$  的灰度范围为  $[n, N]$ , 则图像进行线性变换可写为:

$$s(x, y) = \frac{(N-n)}{M-m} [r(x, y) - m] + n \quad (2-3)$$

#### 2. 分段线性变换

分段线性变换是线性变换的一般情况, 也可以认为是非线性变换<sup>[17][18]</sup>的特



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库